

В качестве еще одного примера регулирования может быть рассмотрено влияние вязкости уплотняемой среды на величину конусности уплотнительного кольца (см. рис. 6в). Известно, что вязкость значительно зависит от температуры. Проблема же тепловых деформаций является одной из самых важных при проектировании уплотнения. В зависимости от частоты вращения, в зазоре может вырабатываться тепловой поток, величина которого в рассматриваемой конструкции по экспериментальным данным составляет 100 – 150 Вт. Кроме того, в конструкции уплотнения возможно применение различного рода турбулизаторов, способствующих лучшему теплообмену между кольцами пары трения и уплотняемой средой. Все эти факторы влияют на вязкость уплотняемой среды, а следовательно и на деформацию уплотнительного кольца.

Приведенные результаты дают конструктору еще одну возможность для создания оптимальных с точки зрения регулирования, уплотнений и могут быть использованы при создании реальных конструкций.

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОРЦОВОГО БЕСКОНТАКТНОГО УПЛОТНЕНИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ**

Проданов М.Е., Фалалеев С.В., Виноградов А.С., Еремин В.А.  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Подобно процессу познания, процесс конструирования проходит этапы живого созерцания, абстрактного мышления и реализации на практике. Каждый из этих этапов одинаково важен. От того, как он осуществлен, во многом зависит качество готового изделия. Применительно к процессу создания сложного технического изделия эти этапы следует определять как этапы постановки задачи и анализа существующих конструкций, моделирования и производства. Для того чтобы минимизировать затраты, связанные с разработкой и внедрением нового изделия, все его составляющие должны быть четко согласованы друг с другом, стандартизованы в рамках одной интегрированной CAD/CAM системы. В качестве применения такого подхода к проектированию, был разработан алгоритм проектирования торцового бесконтактного уплотнения.

В современных условиях конкурентоспособность готового изделия во многом определяется затратами на процесс проектирования, длительностью этого процесса, удобством представления информации для производства и обмена. Во многом это достигается применением технологий параллельного проектирования, которые являются принципиально новым, интегрированным подходом к разработке сложных технических изделий. В основе такой технологии лежит идея совмещенного проекти-

рования изделия, а также процессов его изготовления и сопровождения, координируемых с помощью специально создаваемой для этой цели информационной среды. При этом все этапы такой технологии: концептуальное проектирование, анализ конструкции, детальное проектирование, документирование, технологическая подготовка производства, производство и сопровождение осуществляются одновременно. Это позволяет выявлять и устранять ошибки не в конце процесса проектирования (что обойдется значительно дороже), а в его начале. Представление вновь спроектированного изделия для его рекламы и сопровождения в производстве осуществляется с помощью специальных стандартов CALS. Они включают в себя три основные функциональные группы: функциональные стандарты, определяющие процессы и методы формализации, информационные стандарты, описывающие данные о продуктах и процессах и стандарты технического обмена, контролирующие носители информации и процессы обмена данными между передающими и принимающими системами.

Вышеперечисленным современным требованиям к процессу проектирования удовлетворяют интегрированные системы. Для разработки узла торцового бесконтактного уплотнения (ТБКУ) в работе использовалась интегрированная система CIMATRON. Данная система представляет возможности создания каркасных, поверхностных, твердотельных и сборочных моделей; формирует управляющие программы для фрезерной, электроэрозионной, токарной и листопробивной обработки; генерирует сетки конечных элементов различных типов и подготавливает файлы для последующего инженерного анализа проектируемого изделия в таких CAE-системах, как ANSYS или NASTRAN; имеет возможность создавать собственные пользовательские приложения, разработанные на языках Си или Фортран, а также возможность организовывать управление работой конструкторского подразделения на базе системы управления данными о продукте (PDM). Использование этой системы обусловлено представлением изделия в виде, удобном для обеспечения производства и управления конструкторскими проектами.

Процесс проектирования уплотнительного узла не может рассматриваться отдельно от процесса проектирования той энергетической установки (двигателя или нагнетателя) для которой он предназначен. Уплотнительный узел создается не как самостоятельный объект, а только как часть значительно более сложной технической системы, все рабочие процессы которой тесно взаимосвязаны. Будучи сравнительно простым, алгоритм проектирования уплотнительного узла был бы вполне приемлемым для реализации без использования интегрированной системы. Однако, если рассматривать проектирование уплотнения только как часть общего процесса, то необходимость применения такой системы становится более чем очевидной. По своим характеристикам торцовое бесконтактное уплотнение может быть использовано, например, в качестве уплотнения средней опоры компрессора двигателя НК-93. Данный двигатель является



не только сложной, но и перспективной разработкой, где могут быть реализованы современные подходы к конструированию и производству. При его проектировании используется стандартный подход, когда весь двигатель разбивается на отдельные модули, которые, в свою очередь, подразделяются на более простые узлы (см. рис. 1). Разработка конструкторской документации на модули закрепляется за отделами предприятия, а разработка составляющей документации на узлы за бригадами или отдельными исполнителями. Однако, для того чтобы технология параллельного проектирования была осуществлена, управление информационными потоками должно обеспечиваться с помощью модуля CPDM.

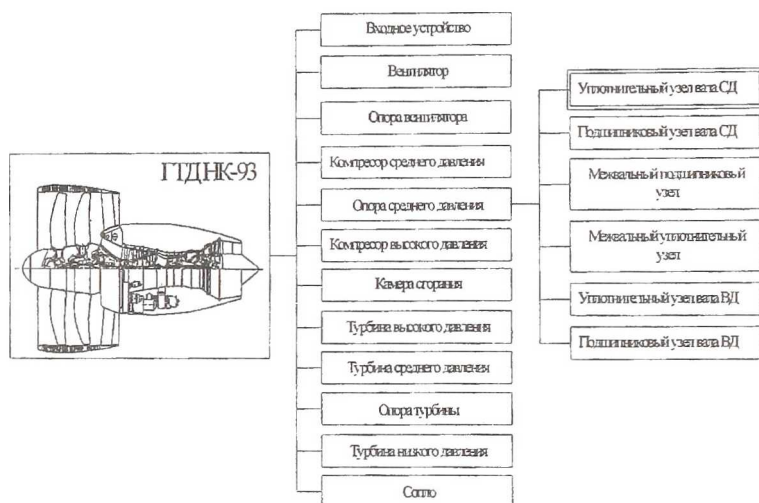


Рис. 1. Двигатель НК-93 как объект проектирования

Торцовое уплотнение со спиральными канавками является очень сложным и ответственным элементом двигателя. Процесс создания такого уплотнения должен учитывать все тонкости его работы, а также включать в себя необходимые газодинамические, тепловые, силовые расчеты. Все последовательные шаги, осуществляемые в ходе проектирования, взятые в совокупности и в определенной последовательности, образуют алгоритм проектирования уплотнительного узла. Разработка алгоритма проектирования является самостоятельной и исключительно важной задачей, т.к. необходимо учесть все те факторы, без учета которых полученную информацию об уплотнении нельзя считать достоверной. Кроме того, в результате схематизации процесса проектирования должно получиться новое знание о создаваемом уплотнении, в противном случае алгоритм будет являться просто схемой для загибнотизированного схематика, который не находя идей истины у себя в воображении, строит вместо них клетки из пустых труб рассудка. В общем виде алгоритм проектирования уплотнительного узла со спиральными канавками (рис. 2) содержит следующие основные этапы.

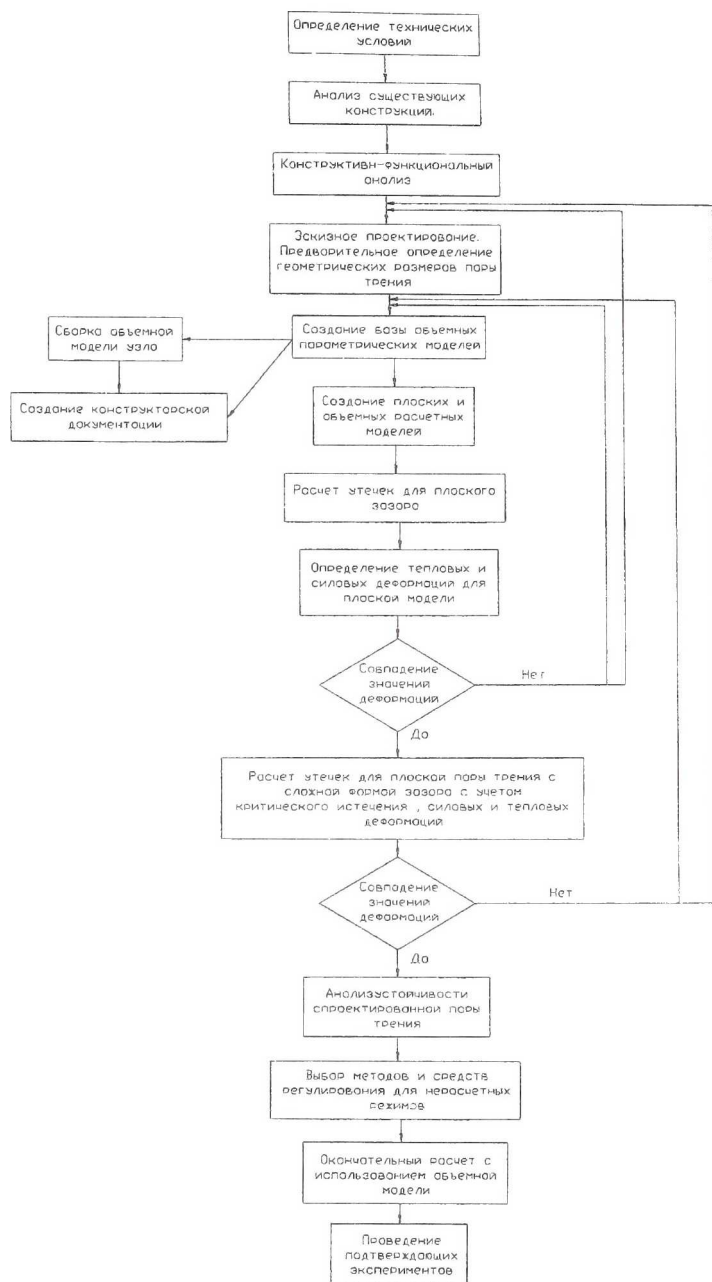


Рисунок 2 - Алгоритм проектирования торцового уплотнения со спиральными канавками

1. Определение технических условий. На этом этапе определяются параметры уплотняемой и уплотняющей сред, параметры режимов двигателя, требования по герметичности, стоимости и ресурсу.
2. Анализ существующих конструкций, включающий тщательное изучение отечественных и зарубежных уплотнительных узлов, работающих при подобных условиях, а также анализ конструктивных схем, возникающих в уплотнении усилий, и поэлементный анализ всего уплотнения.
3. Конструктивно – функциональный анализ. Для выбранной конструкции уплотнительного узла осуществляется последовательно параметрическое, морфологическое и функциональное описания. Здесь формируется та самая система категорий, которая, будучи построенной по принципу субординации (соподчинения), образует форму, в которой понятие обретает конкретность. Простой механический набор понятий не передает всей сложности реальных отношений, их взаимообусловленности. Задача конструктивно-функционального анализа стоит в том, чтобы точно установить и определить эти отношения, связать в единую систему, каждое звено которой, связано с остальным. Пример функционального описания уплотнительного узла приведен на рис. 3.

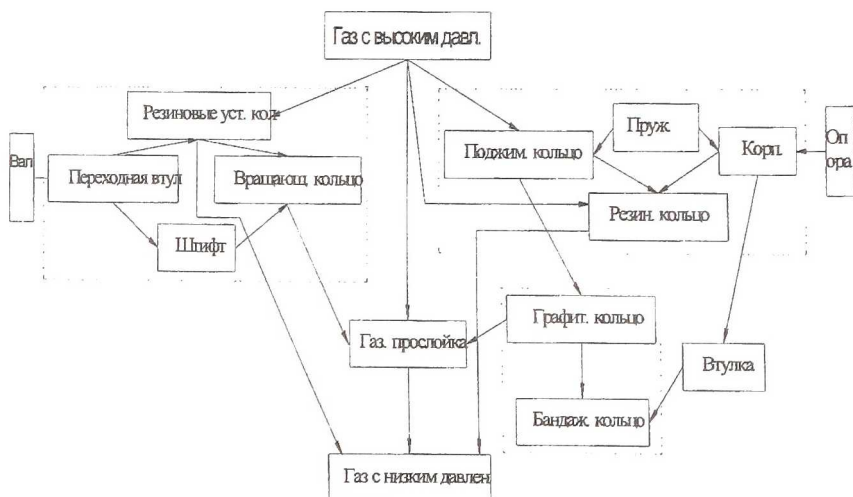


Рисунок 3 - Функциональное описание уплотнительного узла

Конструктивно – функциональный анализ важен еще и потому, что является информационной моделью всего уплотнительного узла. Создание такой модели дает не только дополнительную возможность конструктору выявить и устранить отдельные «слабые» места, но и создать не-

что принципиально новое. Здесь же закладывается основа для применения системы PDM.

4. Эскизное проектирование, предварительное определение геометрических размеров пары трения, на основе проведенного анализа существующих конструкций.

5. Создание базы данных объемных параметрических моделей. На этом этапе создаются объемные модели для всех элементов, составляющих уплотнительный узел.

6. Сборка объемной модели узла. Данный этап является важным с точки зрения определения габаритных размеров узла. На этом же этапе возможен обмен чертежами между всеми отделами предприятия и разработка предварительного сборочного чертежа всего изделия. Пример сборочной модели уплотнительного узла показан на рис. 4.

7. Предварительная разработка конструкторской документации, включающая в себя автоматический выпуск спецификаций и рабочих чертежей.

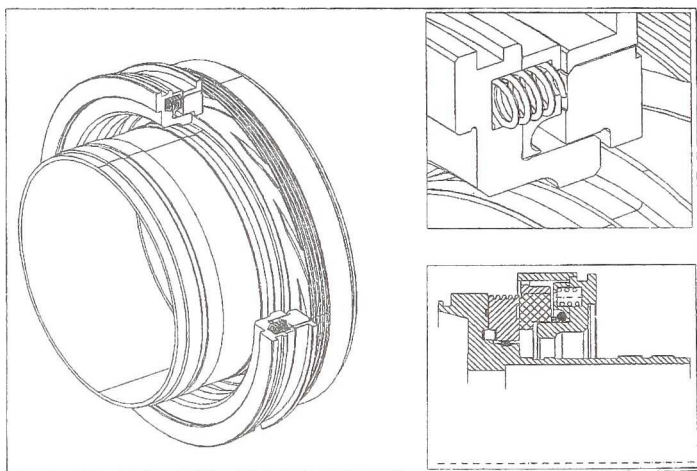


Рисунок 4 - Сборочная модель уплотнительного узла

8. Создание баз данных плоских и объемных расчетных моделей. Т.к. при проектировании мы идем от простого к сложному, то сперва достаточно провести расчет для двухмерных моделей, в целях экономии времени и выявления основных закономерностей. Иерархическая система различных моделей одного и того же объекта является неизбежным элементом любого алгоритма проектирования сложного изделия. 9. Расчет утечек для конусного зазора.

10. Определение температурных и силовых деформаций для плоской модели.

11. Расчет утечек для сложной формы зазора с учетом критического истечения, силовых и температурных деформаций.



12. Анализ устойчивости спроектированной пары трения.
13. Выбор методов и средств регулирования для переходных режимов.
14. Окончательный расчет с использованием объемной модели.
15. Проведение подтверждающих экспериментов.

Все вышеперечисленные этапы находятся между собой в сложных отношениях, и могут многократно повторяться. Так, например, если на этапе анализа устойчивости выяснится, что уплотнение имеет неустойчивый элемент, то весь процесс проектирования должен быть осуществлен сначала, начиная с эскизного проектирования.

Разработанный алгоритм содержит не только отдельные элементы, существенно уточняющие уже разработанные подходы к проектированию торцовых бесконтактных уплотнений в России и за рубежом в способе определения величин деформаций лил утечек. Его отличительной особенностью является использование интегрированной системы, что позволяет рассматривать результат проектировочных работ в совершенно новом качестве. Разработанная модель уплотнительного узла является доступной для информационного обмена, различных изменений и уточнений. С ее помощью значительно упростится процесс передачи документации от конструктора к технологу. Главной же целью представленного подхода к проектированию уплотнения являлось сведение к минимуму возможных ошибок и сокращение стоимости доводочных экспериментальных работ.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩЕЛЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS**

Фалалеев С.В., Виноградов А.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Б. Штиглер

Университет, г. Штутгарт, Германия

Щелевые уплотнения относятся к весьма распространенному типу уплотнений, используемых в современных ДЛА и других энергетических установках. Они предназначены для уменьшения перетекания уплотняемой среды из области высокого давления в область низкого давления. Щелевые уплотнения используются в гидравлических и газовых затворах, в разгрузочных и уравнивающих гидравлических устройствах, опорах скольжения, гидростатических уплотнениях и подшипниках. Иногда такие уплотнения используют в качестве дополнительного, чтобы обеспечить расчетный перепад давления на основном уплотнении контактного типа.

Широкий диапазон возможных применений щелевых уплотнений обуславливает существование многочисленных разновидностей подобных